

[H28] Relativistische Raumfahrt (4 Punkte)

Eine Rakete verläßt die Erde im Jahr 2004. Die Rakete ist so konstruiert, daß ein Passagier stets die Beschleunigung g spürt. Nach den Raketenuhren beschleunigt die Rakete 5 Jahre lang mit g , und bremst 5 Jahre lang mit $-g$. Dann kehrt Sie ihre Flugrichtung um, beschleunigt für 5 Jahre mit g und bremst wieder 5 Jahre mit $-g$ ab, um auf der Erde zu landen. Die Bewegung der Rakete erfolgt stets auf der selben räumlichen Geraden. Welches Jahr schreibt man auf der Erde bei der Landung? Wieviele Kilometer hat die Rakete aus Sicht der Erdbewohner zurückgelegt?

Zahlenwerte: $g = 10 \text{ m/s}^2$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ Jahr} = 3 \cdot 10^7 \text{ s}$.

[H29] Compton-Streuung (3 Punkte)

Betrachten Sie die elastische Streuung zwischen Photonen (γ) und Elektronen (e^-)

$$\gamma + e^- \longrightarrow \gamma + e^- .$$

Der Streuwinkel im Ruhesystem des einlaufenden Elektrons sei θ . Bestimmen Sie den Frequenzverlust ($\frac{1}{\omega'} - \frac{1}{\omega}$) des Photons in Abhängigkeit des Streuwinkels θ , wobei ω , ω' die Frequenz des Photons vor bzw. nach dem Streuprozess ist.

Hinweise: Das Photon ist ein masseloses Teilchen, so daß für seinen Viererimpuls vor und nach der Streuung $q^2 = q'^2 = 0$ gilt. Die Masse des Elektrons sei m_e . Verwenden sie für das Photon die quantenmechanische Beziehung $E = \hbar\omega$ zwischen der Energie E und der Frequenz ω .

[H30] Pionzerfall (3 Punkte)

Ein Pion zerfalle in ein Myon und ein Myon-Neutrino:

$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu .$$

Bestimmen Sie die Verteilung der Gesamtenergie nach dem Zerfall. Welcher Anteil entfällt auf die kinetische Energie des Myons bzw. des Neutrinos?

Hinweise: Pionmassen $m_\pi = 273,13 m_e$, Myonmasse $m_\mu = 206,77 m_e$. Das Neutrino kann in guter Näherung als masselos angenommen werden. Betrachten Sie den Prozess im Schwerpunktsystem (= Ruhesystem des Pions).

April-Ausgabe des Scientific American 1975: Stellen Sie sich einen einen Meter langen Stab vor (unendlich dünn), der sich wie eine Rakete auf einer geraden Linie kollinear mit dem Stab fortbewegt. Eine parallel zum Stab ausgerichtete (unendlich dünne) Platte mit einem einen Meter großen runden Loch bewege sich rechtwinkelig dazu auf exaktem Kollisionskurs, sodass im selben Augenblick der Mittelpunkt des Stabes und der des Loches zusammenfallen werden. Angenommen die Platte definiert das Inertialsystem und der Stab bewegt sich so schnell, dass er um einen Faktor 10 Lorentz-kontrahiert ist. Auf diese Weise passt er leicht durch das schnell aufwärts fliegende Loch, dessen Geschwindigkeit unwesentlich ist. Betrachten Sie jetzt die Situation vom Standpunkt des Stabes. Jetzt bewegt sich die Platte in der umgekehrten horizontalen Richtung und das Loch wird auf 10 cm Lorentz-kontrahiert, sodass es unweigerlich zur Kollision kommen muss. Diese beiden Situationen sind nicht äquivalent, womit eine fundamentale Annahme der speziellen Relativitätstheorie verletzt wird. Physiker wussten schon lange, dass die allgemeine Relativitätstheorie auf schwachen Füßen steht, aber die spezielle Relativitätstheorie war schon auf so mannigfache Weise bestätigt, dass ihr plötzliches Zusammenbrechen eine große Überraschung war. ...

Lösen Sie diesen scheinbaren Widerspruch auf, indem Sie zunächst im Laborsystem S (Skizze s.u.) entscheiden, ob es zu einer Kollision kommt, und dann verifizieren, dass ein Beobachter, der relativ zum Stab ruht, zum gleichen Ergebnis kommt. Stellen Sie in letzterem Bezugssystem (S') die Flugbahn des Loches in der $x'y'$ -Ebene dar – nehmen Sie dafür der Übersichtlichkeit halber allerdings $\gamma = 2$ statt 10.

